

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

К. А. ГУЛГАЗАРЯН

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ФОТОУМНОЖИТЕЛИ
СО СКОРОСТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ
ЭЛЕКТРОННОГО ПОТОКА

Для приема световых сигналов, модулированных с. и ч. колебаниями, при помощи фотоумножителя (ф. э. у.), широко применяется принцип преобразования частоты. При этом фототок, вызванный модулированным светом, модулируется колеблющейся гетеродиной, в результате чего появляется составляющая фототока с разностной частотой (разность между частотами модуляции света и гетеродиной), которая усиливается умножительной системой и выделяется на выходе ф. э. у. При этом основная задача—создание широкополосных модулирующих электродов, требующих малую мощность для модуляции. Этим требованиям удовлетворяет электродинамический способ управления током, который пока не применяется в фотоэлектронных приборах. В [1] показана возможность применения этого метода в ф. э. у. В данной статье рассматривается система модулирующих электродов для электродинамического управления, а также ф. э. у. с такими электродами, отличающиеся простотой конструкции, широким диапазоном модулирующих частот и малым модулирующим напряжением.

1. Система модулирующих электродов. На рис. 1 показана система электродов для электродинамического управления электронным потоком. Возможны различные варианты питания электродов постоянным и управляющим напряжениями. Во всех случаях электроды 1 и 3 соединены по постоянному току. Потенциал одного из электродов модулируется относительно двух других. Так, например, на рис. 1, а модулируется потенциал фотокатода 1 относительно ускоряющего электрода 2 и отсекающей сетки 3. На рис. 1, б модулируется потенциал отсекающей сетки, а на рис. 1, в — потенциал ускоряющего электрода. Резистор R и конденсатор C являются развязывающими элементами. Для сравнения вариантов определим их частотно-модуляционные характеристики, выражающие зависимость глубины модуляции фототока от частоты модулирующего сигнала, при постоянстве глубины модуляции.

2. Частотно-модуляционные характеристики. Для варианта по рис. 1, а определим энергию электрона, вышедшего из фотокатода 1 с нулевой начальной скоростью, на поверхности ускоряющей сетки. Пусть в момент времени $t = t_0$ электрон выходит из фотокатода 1 и движется к электроду 2. Величина энергии, приобретенной электроном от постоянного и переменного полей при прохождении отрезка dx , будет

$$dW_2 = \frac{eU_0}{l} dx + \frac{eU_m}{l} dx \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

где l —расстояние между электродами 1 и 2; U_0 —постоянное напря-

жение; U_m — амплитуда управляющего напряжения; t — момент времени, когда электрон находится на расстоянии x от фотокатода; e — заряд электрона.

При условии $U_0 \gg U_m$, что обычно выполняется на практике, имеем

$$t = t_0 + \frac{2x}{v}, \quad (2)$$

где

$$v = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}} x \quad (3)$$

— скорость электрона на расстоянии x .

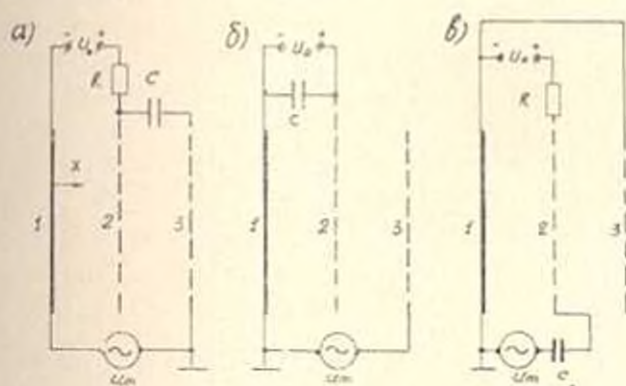


Рис. 1. Системы модулирующих электродов. 1 — фотокатод; 2 — ускоряющий электрод; 3 — отсекающая сетка.

Интегрируя (1) в интервале $[0, t]$ с учетом (2) и (3), получим выражение для энергии электрона на поверхности электрода 2:

$$W_2 = eU_0 + eU_m M \sin\left(\omega t_0 + \frac{\Theta}{2}\right) = \frac{2eU_m}{\Theta} \left(M - \cos\frac{\Theta}{2}\right) \cos\left(\omega t_0 + \frac{\Theta}{2}\right), \quad (4)$$

где $M = \frac{2}{\Theta} \sin\frac{\Theta}{2}$; $\Theta = \omega\tau$ — угол пролета между электродами 1 и 2;

τ — время пролета между электродами 1 и 2.

Между электродами 2 и 3 поле тормозящее. Электроны могут преодолеть его тормозящее действие и пройти через сетку 3 при условии $W_2 > eU_0$, т. е. если

$$W_2 - eU_m M \sin\left(\omega t_0 + \frac{\Theta}{2}\right) = \frac{2eU_m}{\Theta} \left(M - \cos\frac{\Theta}{2}\right) \cos\left(\omega t_0 + \frac{\Theta}{2}\right) > 0. \quad (5)$$

После преобразований выражение (5) примет вид:

$$W_2 = W_m \cos(\omega t_0 - \tau). \quad (6)$$

$$W_m = eU_m \sqrt{M^2 - \frac{4}{\Theta^2} \left(M - \cos\frac{\Theta}{2}\right)^2}. \quad (7)$$

Если же $W_m < 0$, то электроны, не долетая до сетки 3, возвращаются обратно. В реальных условиях, из-за объемного заряда, начальных скоростей электронов и других факторов, для управления необходимо иметь напряжение $-1a$ [1]. Поэтому можно полагать, что, если W_m больше величины порядка 1 эВ, то произойдет эффективная модуляция фототока.

Зависимость $W_m(H)$, построенная по выражению (7), представлена на рис. 2 (кривая 2). Там же показаны та же характеристики,

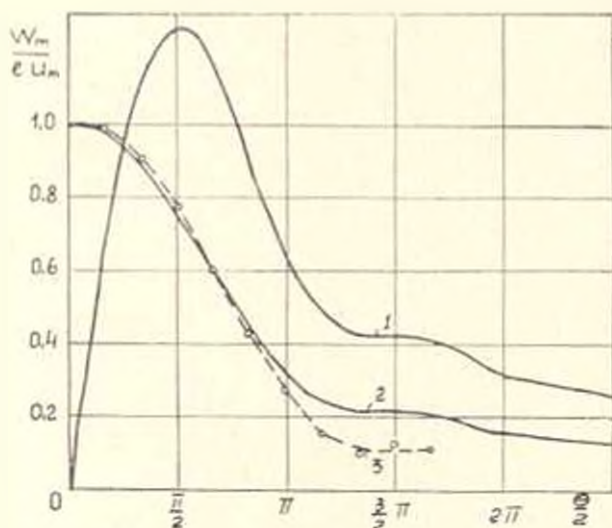


Рис. 2. Частотно-модуляционные характеристики модулятора для разных вариантов при одинаковых расстояниях между электродами. 1—для варианта по рис. 1, а; 2—для варианта по рис. 1, а и б; 3—экспериментальная характеристика (для кривой 2).

полученная экспериментально (кривая 3). W_m уменьшается с повышением частоты, но, в отличие от функции $M(H)$, не имеет нулевых значений, что имеет место во многих с. в. ч. приборах. Из рис. 2 (кривая 2) видно, что при $H=3.5 \text{ рад}$ W_m уменьшается в 2 раза (уровень 0,7). Этому соответствует граничная частота $f_{0.7}=0.56/\tau$, выше которой эффективность модуляции фототока падает. Таким образом, в данном варианте полоса модулирующих частот будет $0 \div f_{0.7}$.

Аналогичным путем для варианта по рис. 1, б находим:

$$W_m = e U_m \sqrt{M^2 + \frac{4}{H^2} \left(M - \cos \frac{H}{2} \right)^2} \cos \left[\omega t_0 - \frac{H}{2} - \arctg \frac{H M}{2 \left(M - \cos \frac{H}{2} \right)} \right] \quad (8)$$

где H —угол пролета между электродами 2 и 3.

Сравнивая выражения (6) и (8) замечаем, что при одинаковых углах пролета они имеют одинаковые амплитуды и отличаются только

фазой. Следовательно, в энергетическом отношении варианты по рис. 1,а и рис. 1,б идентичны. Выбор того или иного варианта зависит от конструктивных соображений.

Для варианта по рис. 3,в при равном расстоянии между электродами 1,2 и 2,3 аналогично находим:

$$W_m = \frac{4eU_m}{\omega} (M_1 - 1). \quad (9)$$

График функции $W_m(\omega)$, построенный по формуле (9), показан на рис. 2 (кривая 1). В этом случае функция не начинается с нуля (с низких частот), что является недостатком.

3. Конструкция с.в.ч. ф.э.у. На рис. 3 показана конструкция с.в.ч. ф.э.у. с модуляцией потенциала фото катода 3 внешним кольцевым электродом 1 [2, 3]. Электроды 5,6 и 8 соединены конденсаторами, образованными диэлектриками 7,9 и электродами 5,6,8 (рис. 1,а). Для выбора рабочей точки на электрод 8 можно подать небольшое постоянное напряжение относительно катода. Электростатическое поле между электродами 8 и 10, как и в обычных входных камерах ф.э.у., обеспечивает попадание фотоэлектронов на нужный участок первого диода

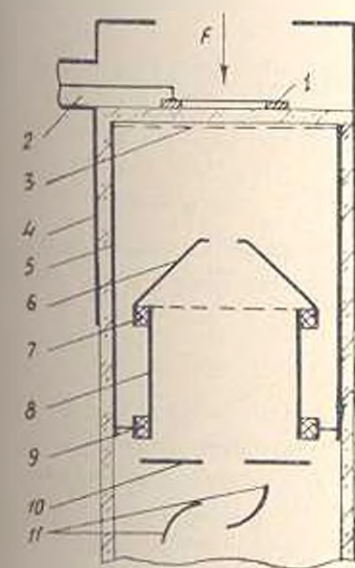


Рис. 3 Ф.э.у. с.в.ч. с модуляцией потенциала фото катода. 1—внешний кольцевой электрод; 2—манжета для подержания напряжения на внешнем электроде; 3—полупрозрачный фотокадод; 4—металлическая трубка; 5—катодный цилиндр (мандат); 6—ускоряющий электрод; 7, 9—диэлектрики; 8—цилиндрический электрод с отсекательной сеткой; 10—диафрагма; 11—умножительная система; F—модулированный свет.

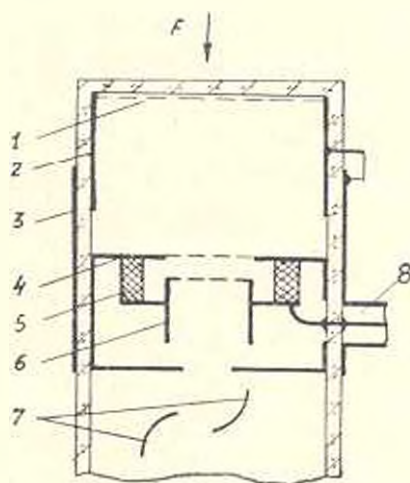


Рис. 4 Ф.э.у. с.в.ч. с модуляцией потенциала отсекающей сетки. 1—полупрозрачный фотокадод; 2—манжета; 3—металлическая трубка; 4—система ускоряющих электродов с сеткой; 5—диэлектрик; 6—цилиндр с отсекающей сеткой; 7—умножительная система; 8—линия для подачи напряжения на отсекающую сетку; F—модулированный свет.

умножительной системы II. Устройство отличается простотой конструкции и для его осуществления достаточно в серийных ф.э.у., имеющих ускоряющий электрод типа б (например, ФЭУ-64 и др.), добавить электрод 8. При расстоянии между катодом и ускоряющим электродом 2 см (ФЭУ-64), напряжений $U_a = 400$ в и $U_m \approx 1$ в имеем $f_{0,2} = 170$ МГц, а если увеличить U_m до 10 в, то $f_{0,2}$ повысится до 1000 МГц. Нахождение с. в. ч. узлов вне вакуумного баллона также является преимуществом данной конструкции.

На рис. 4 показана схема с.в.ч. ф.э.у. с модуляцией потенциала отсекающей сетки. Цилиндрический электрод с отсекающей сеткой б находится внутри системы ускоряющих электродов 4, состоящей из металлического цилиндра и двух диафрагм (одна с сеткой). Роль конденсатора С (рис. 1,б) выполняет емкость, состоящая из электродов 3,4 и стекла баллона ф.э.у. Здесь также электростатическое поле в области между электродами б и 4 обеспечивает попадание фотоэлектронов на нужный участок первого диода умножительной системы 7.

При расстоянии между сетками 2 мм, $U_a = 200$ в, $U_m \approx 1$ в имеем $f_{0,2} = 1000$ МГц. Широкая полоса пропускания модулирующих частот, малое модулирующее напряжение и простая конструкция являются очевидными преимуществами этого устройства.

ЕрIII им. К. Маркса

Поступило 9.VII.1971

Գ. Ք. ԳՐԱԴԱՆԱԿԱՆ

ԸՆԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՀՈՐԵՐ ԸՆՏ ԱՐԱՎՈՐԵՅԱՆ ՄՈԴՈՎԱԶՈՒՄՈՎ ԿԵՐԱՐԶՐ ԶԱՆՈՒԱԿԱՆՈՐԵՅԱՆ ՀԱՏՈՐԱԳՐԱՎԱՏՎԱԾՆԵՐ

Ա. Մ. Փ. Ն. Փ. Ն. Փ.

Հոդվածում նախադրում է էլեկտրոնային հոսքի մոդուլացիոն էլեկտրոնների սխեմա, բաղկացած՝ ֆոտոկատոդից, արագացնող էլեկտրոդից և կտրող ցանցից, ընդ որում վերջինս միացված է ֆոտոկատոդին բառ հաստատուն հասանքի թերթով և գերբարձր համախառնության ֆոտոազդեցական էրկոս կոնստրուկցիա, որոնցում մոդուլացիոն պատենցիալը արվում է ֆոտոկատոդին կամ կտրող ցանցին Այդ կոնստրուկցիաներն աչրի են բնկնում պարզությամբ, մոդուլացիոն համախառնությունների լայն դիապազոնով ($0 - 100$ ՄՀց) և փոքր մոդուլացիոն լարումներով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гулгазарян К. А. Применение скоростной модуляции в фотоумножителях. ИТЭ, 1970, № 6.
2. Гулгазарян К. А. Новый способ управления электронным потоком в фотоэлектронных приборах. «Радиотехника», 1970, № 10.
3. Скибарко А. В., Гулгазарян К. А. Патент США, № 3.555.281, 1971.